

人型ロボットの足指の動きを組み入れた姿勢制御

植村真一郎[†]

Attitude control of the human robot incorporating the movement of the toes

Shinichiro UEMURA

This is basic research on the attitude control of a human size robot which walks treading by toes. The purpose of this research is to perform more stable attitude control so that the robot cannot fall down treading by toes like a human. The human can keep a deep forward-bent posture by using toes. Thus we focus on toes as one of control methods of preventing the robot from falling down. As a method of attitude control, we used “ZMP”. It is the most popular method of attitude control. The model we assume is about 110cm tall and weighs 2kg. The experiments on two patterns, “using toes” and “not using toes” were conducted, and the results between them were verified.

Keywords : Robotics, Attitude control, Humanoid robot, Entertainment

1 緒 言

エンタテインメント的な要素を持つロボットの開発が行われて久しいが、最近ではさらに二足で安定した歩行するものや人を癒やすことの出来るものまで、様々な動作を行えるロボットが多く開発され、実用に供されている。センサ技術や IT 技術の大きな進歩がロボットの複雑な姿勢制御技術をもたらしたという背景がある。一方で、人間は現在の状態や自分自身の意思から予測をすることで様々な安定した動作を行っている。例えば、歩くという動作では足を踏み出す前に軸足に重心を移そうとし、次の動きに備える。この重心の移動の予知によって、歩行動作に伴う体の一連の動きを制御し、スムーズに歩行動作を行うことができる。そこで本研究では、あらかじめ決められた動作を逐次的に実行していくシーケンス制御ではなく、あらかじめ行動の意思に基づく動きを想定した上で、様々なセンサを用いロボットに人間のような動作を予測したスムーズな動作を行わせることを目的とした。今回は、前に倒れることを未然に防ごうとする一例として、前かがみの深い前傾姿勢を保つことを可能にする人間の足指での踏ん張りに着目した。そこで、動作の一例として、お辞儀動作を取り上げ、人間の動きに倣って足指情報を姿勢制御に反映し、ロボットにおいても人間のように足指を使って踏ん張ることでより安定した姿勢制御を行うことができるかどうかを調べた。姿勢制御

の方法には様々なものがあるが、今回はその中でも現在もっとも使われている ZMP 制御という制御方法を用いた。

2 ロボットの概要

2・1 コンセプト

本ロボットは、基本的にエンタテインメント的な要素を持つロボットを設計・制作することを目的としている。そのため、以下のコンセプトで設計を行った。

(1) 小学生程度の大きさで親しみやすいロボット。

(2) あらかじめ定められた順序または手続きに従って制御の各段階を逐次進めていく制御（シーケンス制御）ではなく、センサの値などから自ら状況を判断して動くようにする。

二つのコンセプトを基に、設計には 3DCAD ソフト Solid Works を使用し、主にレーザー加工機を用いてロボットを製作した。Fig. 1 に 3D-CAD で設計したモデルとそれを元に部品加工し組み立てたロボットの全形、Fig. 2 に圧力センサーの取り付け状況を示す。

2・2 仕様

今回製作したロボットの概要を以下に示す。ロボットは誰にでも親しみやすいロボットというコンセプトから、全高は小学生程の身長を持つモデルに設計・製作を行った。

[†]鹿児島工業高等専門学校 電子制御工学科

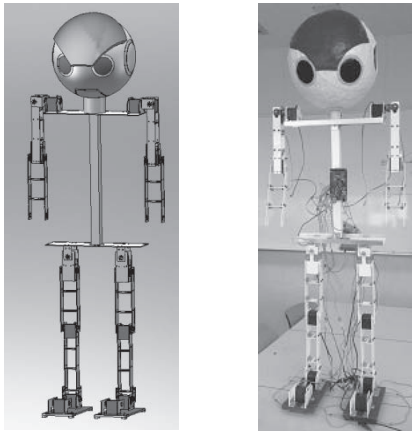


Fig.1 Robot designed by 3D-CAD and assembled

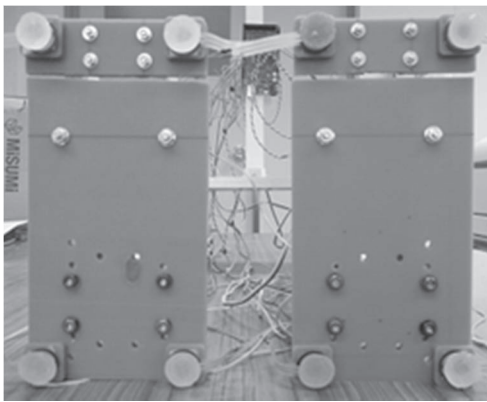


Fig.2 Apparatus of pressure sensor on foot

また今回は、お辞儀動作と屈伸動作、手を振る動作を行わせた。

(1) ロボットの仕様

- 1) 全長：約 110cm
- 2) 重量：約 20 N

(2) 主な材料

- 1) フレーム部・・・アクリル板 (板厚 2mm)
- 2) 足部・・・MC ナイロン (板厚 5mm)

(3) アクチュエータ

1) 肩,肘

- サーボモータ(KRS-788HV)
 - ・トルク：10.0 Kg・cm (9V 使用時)
 - ・スピード：0.14 sec/60°(9V 使用時)
 - ・電源電圧：9～12 V (今回は 9V で使用)

2) 足首,膝,股関節

- サーボモータ(KRS-4034HV)
 - ・トルク：41.7 Kg・cm (11.1V 使用時)
 - ・スピード：0.17 sec/60°(11.1V 使用時)
 - ・電源電圧：9～12 V (今回は 9V で使用)

(4) CPU

ArduinoMega2560,

(5) サーボモータコントローラ

RCB-3(近藤科学)

(6) 圧力センサ

FSR-402

2・3 関節の自由度

各関節の自由度は、肩 2,肘 1,股関節 2,膝 1,足首 1 であり、お辞儀としゃがむ動作,手を振る動作が可能である。また、足指の機構を搭載しており、人間の踏ん張るという動作をロボットでも実現することが可能である。足裏には圧力センサが 8 つ取り付けられており、この圧力センサからの値で ZMP を計算してロボットの姿勢を制御する。

2・4 アクチュエータの制御

ロボットの制御には、マイコンとして Arduino Mega とサーボモータ・コントローラ RCB-3 を使用している。Arduino Mega は圧力センサの値からの ZMP の計算とサーボモータ(KRS-788)の制御を担っている。Arduino シリーズは低コストで、開発環境が C 言語と似ているため扱いやすいという利点から採用した。また、RCB-3 は近藤科学製のコントロールボードである。コストは高いが、プログラム作成が容易で、シリアルサーボも動作速度を変えながら動作させることができることから、サーボモータ(KRS-4034HV)の制御用に採用した。

2・5 足指機構

今回製作したロボットの特徴として、足指機構が挙げられる。人間が足指で踏ん張ることでより深くお辞儀をすることができることから、この機構をロボットにも搭載することで人間の動きと同じような効果を得るために実装した。実際に製作した足指部を Fig. 3 に示す。

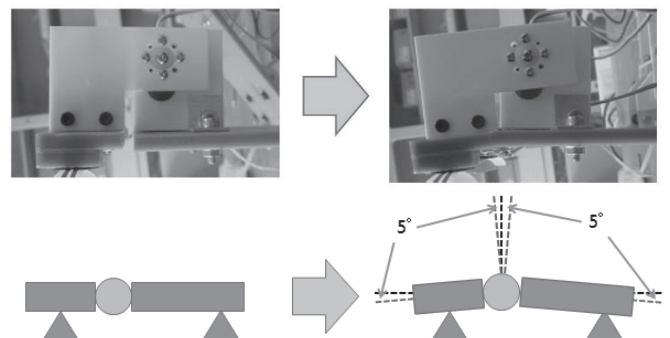


Fig.3 Mechanism of the toes

足指部は Fig. 3 のような構造になっており、圧力センサ部には接地面が安定するように半球状のゴムが取り付けられている。可動範囲は 5°であり、この機構により人間の踏ん張る動作を再現した。

本来、人間が踏ん張った場合には前方の床反力が増加することでより深いお辞儀を可能にしているが、今回は体全体を 5° 後ろに傾けることでロボットの重心位置を後ろにずらして疑似的にこの効果を再現した。現在の足指部は一枚の板状の指で構成されているが、人間の足指のように5つの指状に分けてそれぞれの指を独立して動かせるような足指の構成にすることで、より人間に近い効果が得られる可能性があると考えられる。

2・6 腕部

腕部を Fig.4 に示す。腕部は肩の自由度が2, 肘1, 手首1の計4自由度であり、手を振る動作を行えるような設計になっている。腕部は下半身に比べて必要なトルクが小さいため、コスト面も考慮して KRS-788 をアクチュエータとして使用した。

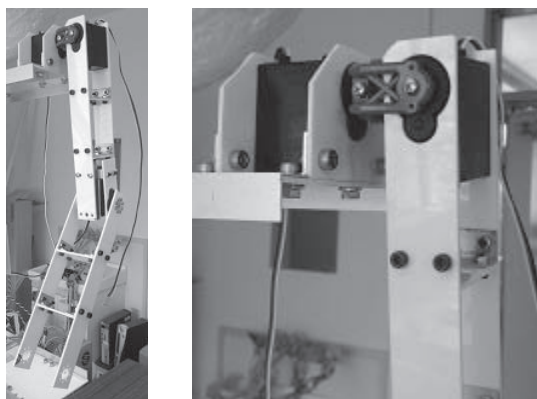


Fig. 4 Mechanism of the Arms

3 ZMP 理論

3・1 ZMP (Zero Moment Point)

ZMP とは、足裏全体に分布してかかっている床反力の法線成分を、ある一点にかかっているとして置き換えたときの作用点のことである。ZMP を用いると、この点では床から受けるモーメントの水平方向軸成分は0であり、床反力を1つの並進力のみで表すことができるので考えやすい。床反力の作用点なので、ZMP は必ず Fig. 5 に示す支持多角形のなかにあると考えられる。

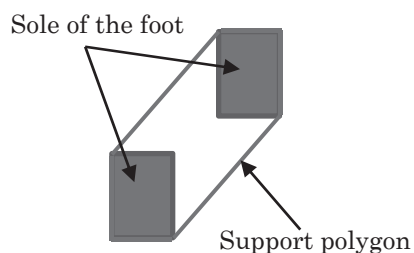


Fig.5 ZMP & the support polygon

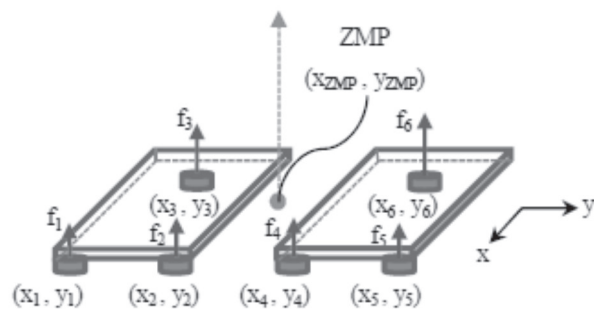


Fig.6 Calculation example of ZMP

3・2 ZMP の算出

例えば Fig. 6 のように、両足裏それぞれ3点で床反力を受けている場合の ZMP は次のように求められる。y 軸まわりのモーメントについて以下の関係が成り立つ。

$$x_1 f_1 + x_2 f_2 + x_3 f_3 + x_4 f_4 + x_5 f_5 + x_6 f_6 = x_{ZMP} F \quad (1)$$

左辺は各点にかかる床反力によるモーメントの和であり、右辺はそれらの力がすべて ZMP にかかっているとしたときのモーメントである。

4 測定結果

今回の測定ではお辞儀動作での ZMP を測定し、足指での踏ん張りがある場合と無い場合で ZMP にどのような差が現れるかを考察した。測定条件とその結果を以下に示す。

○測定条件

- ・股関節のサーボモータのみ駆動させる。
- ・股関節が $0^\circ \sim 30^\circ$ 傾く間の ZMP を 1° ごとに測定する。

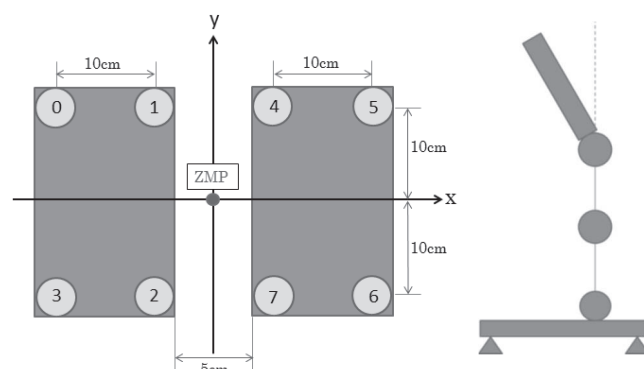
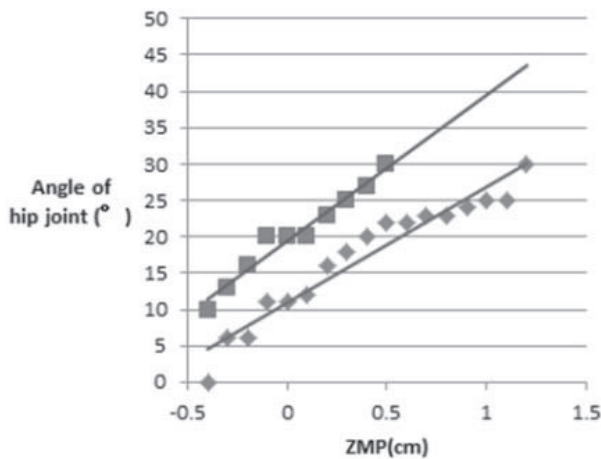
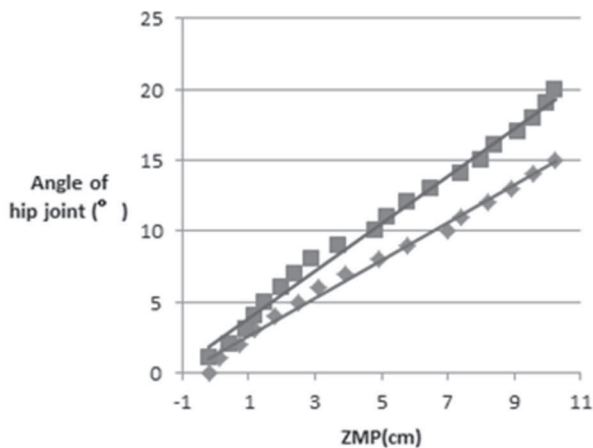


Fig.7 Configuration of the sole & measured angle α



(a) Body only



(b) Equipped with arms and head

Fig.8 Measurement results of the ZMP

Fig. 7 は今回製作したロボットの足裏の構成図と実際に測定した角度を示している。足裏には Fig. 7 のような配置で 8 つの圧力センサが搭載されている。この圧力センサの値から式(2)を用いて ZMP を計算し、姿勢制御に反映した。

$$y_{zmp} = \frac{\sum y_i f_i}{\sum f_i} \text{ (cm)} \quad (2)$$

y_i ・・・圧力センサの座標値 (cm)

f_i ・・・各圧力センサの読み取り値 (g)

Fig. 8 における赤いグラフは足指で踏ん張った場合、青いグラフは踏ん張らなかった場合の測定結果である。この測定結果から足指で踏ん張った場合は踏ん張ら

ない場合の同じ ZMP において頭部と腕部を搭載しない場合で約 8°, 頭部と腕部を搭載した場合で最大 5°, 平均して約 4°深くお辞儀ができるということがわかった。また、頭部と腕部を搭載した場合、搭載しない場合は 30°までお辞儀できていたのに対し、20°で ZMP が足裏の範囲を超えて倒れてしまった。このことから、上半身の重量が増すことは ZMP に大きな影響を与えるということが分かった。

5 むすび

人型ロボットについては、ホンダが開発したロボット asimo に代表されるように実用化を目指したものから、ホビー用の小型で安価なロボットに到るまで、多種多様のものが開発されている。本研究の目指すロボット開発は、サイズとしては小学生ほどの身長を持ち、相手に合わせて様々な反応を示すエンタテインメント性を有するロボットに関する基礎的研究の一環として、人間が有する身体的機能の一部をロボット動作に組入れ、その有用性を検証した。

今回の検証結果から、足指で踏ん張る機構を設けたことで、より深いお辞儀動作を行うことができるということがわかり、その有用性を確認した。

これは足指で踏ん張る動作を模倣し、自身を後ろに傾けることで ZMP の位置が後ろにずれ、結果的に体を起こそうとする方向のモーメントが増加したからだと考えられる。このことから、人間が行っている動作をロボットに反映することでほぼ同じような効果が得られるということがわかった。

したがって、この他にも足指で踏ん張るのではなく、股関節と同時に足首を可動させることでも同じような効果が得られるのではないかと考えられる。

今後の課題と予定を以下に示す。

- (1) 加速度センサを取り付けることでより細かな測定を行い、姿勢制御に反映する。
- (2) 足首の動作を取り入れたときにどのような結果になるのか測定する。
- (3) 足首に横方向の自由度を加え、横方向の ZMP に関しても測定を行い、いかなる動きに対しても安定した動作を行わせる。